

Opportunities and Vulnerabilities of Industry 4.0: A Systematic Literature Review

Giacomo Büchi¹, Monica Cugno², Rebecca Castagnoli³

INTRODUZIONE

Nonostante la rilevanza del fenomeno Industry 4.0 (Kagermann, Lukas, & Wahlster, 2011), allo stato attuale non esiste una valutazione completa degli effetti dell'implementazione dell'Industry 4.0 in impresa. Il paper si propone di colmare tale gap con tre obiettivi specifici:

- 1) Ricostruire una descrizione completa e sistematica della letteratura sull'Industry 4.0;
- 2) Identificare opportunità e vulnerabilità dell'Industry 4.0;
- 3) Identificare i gap della letteratura e individuare le linee future di ricerca.

Il paper si propone di rispondere a due research questions:

- 1) Come evolve la letteratura sull'Industry 4.0 a partire dal 2011?
- 2) Quali opportunità e vulnerabilità sono identificate in letteratura?

L'analisi è condotta attraverso una systematic literature review sui database scientifici Ebsco, WoS e Scopus nel periodo 2011 – settembre 2019.

L'importanza di questo quadro concettuale è evidente a causa della crescente applicazione dell'Industry 4.0. Inoltre, il quadro proposto potrebbe supportare meglio le strategie manageriali.

Nella letteratura esistente il paper si configura come una proposta originale: da un punto di vista metodologico identifica criteri e fasi del processo di literature review replicabili completamente in modo sistematico; da un punto di vista dei risultati descrive in modo completo la conoscenza esistente e fornisce un'utile fonte per l'identificazione dei principali filoni di ricerca per le linee future di ricerca.

METODOLOGIA

Il processo di systematic literature review (Tranfield, Denyer, & Smart, 2003) è organizzato in tre fasi suddivise in step successivi.

Fase I – Pianificare la review

Il primo step identifica scopo e research questions.

Il secondo step seleziona le parole chiave (dodici sinonimi di Industry 4.0 e nove pillar di tecnologie abilitanti) alla luce del background teorico, dell'esperienza degli

¹ Giacomo Büchi, M.Sc. (Oxford), Ph.D. (Padova), Professore ordinario di Economia e gestione delle imprese – Università degli Studi di Torino.

² Monica Cugno, Ph.D. (Padova), Professore aggregato e ricercatore di Economia e gestione delle imprese – Università degli Studi di Torino.

³ Rebecca Castagnoli, Ph.D. fellow in Business and management – Università degli Studi di Torino.

autori e di interviste in profondità con esperti con differente background professionale nell'ambito Industry 4.0.

Il terzo step individua il campione di articoli secondo cinque criteri: periodo (2011-settembre 2019); lingua (inglese); tipo di documento (articoli scientifici); area di ricerca (business economics); categorie (business, management, economics).

Il quarto step stabilisce i criteri di inclusione/esclusione che eliminano dall'analisi gli articoli che:

- 1) non corrispondono ai criteri stabiliti nel terzo step;
- 2) citano il termine Industry 4.0 senza analizzarlo in dettaglio;
- 3) utilizzano il termine Industry 4.0 in maniera impropria (digitization or digitalization).

Fase II – Condurre la review

Il primo step applica le stringhe e i criteri di ricerca nei tre database scientifici: WoS, EBSCO e Scopus. Al termine della fase, si ottengono 312 lavori.

Nella seconda fase vengono eliminati i duplicati.

Nella terza fase, gli abstract vengono analizzati applicando i criteri di inclusione/esclusione a tutti e tre i database, ottenendo 90 documenti che soddisfano i criteri stabiliti.

Nella quarta fase, i 90 articoli individuati nella fase precedente vengono letti per individuare opportunità e vulnerabilità.

Al fine di limitare il grado di soggettività nel processo selezione degli articoli e aumentare l'affidabilità dei risultati, l'analisi è condotta separatamente da ciascun autore. I risultati sono successivamente discussi in modo da consentire il consenso sull'esame effettuato.

Fase III – Analisi e risultati

Nel primo step della terza fase sono create due griglie di analisi.

La griglia generale contiene le informazioni descrittive sugli articoli.

La griglia tematica – identifica definizioni, opportunità e vulnerabilità di ogni pillar di tecnologie abilitanti.

Nel secondo step viene creato il database e vengono raccolti i dati.

Nel terzo step si procede con l'analisi descrittiva e tematica delle informazioni.

L'analisi descrittiva riporta le caratteristiche del campione. L'analisi tematica individua opportunità e vulnerabilità che emergono dalla letteratura per ogni pillar di tecnologie abilitanti.

PRINCIPALI RISULTATI

Analisi descrittiva

Il fenomeno viene studiato a partire dal 2011 - piano industriale tedesco (Kagermann et al., 2011) - anche se il tema viene diffusamente trattato a partire dal 2016. Le riviste che indagano il tema sono improntate prevalentemente all'innovazione con autori che provengono soprattutto da Europa (in particolare Germania), USA e Asia. La maggior parte degli articoli è di natura concettuale e analizzano nella maggior parte dei casi un unico pillar di tecnologie abilitanti o mix di alcuni pillar, in particolare cloud-computing, big data, internet of things e additive manufacturing.

Analisi tematica

L'analisi tematica individua i principali effetti, in termini di opportunità e vulnerabilità, dell'Industry 4.0 in impresa distinti per pillar di tecnologie abilitanti. Per brevità si riportano i principali risultati.

L'advanced manufacturing può consentire: miglioramento delle competenze di produzione (Chung & Swink, 2009) e della produttività (Spanos & Voudouris, 2009); riduzione dei costi (Mirmahdi & Wan Khairuzzaman Wan, 2012). Per contro, presenta rischi quali la riduzione dell'occupazione a basso valore aggiunto (Djuric, Urbanic, & Rickli, 2016). L'augmented reality consente di: valutare prodotti o processi senza un prototipo fisico o senza la necessità che il cliente sia fisicamente presente (Coxon, Kelly, & Page, 2016); realizzare virtual training migliorando le procedure di lavoro e/o i processi decisionali (Wang, Ong, & Nee, 2016). L'internet of things può portare: capacità di rilevare in tempo reale l'usura e la rottura dei macchinari attraverso una manutenzione predittiva e preventiva (Manyika et al., 2015); migliore sicurezza relativa alla tracciabilità del prodotto (Strange & Zucchella, 2017); maggiore efficienza nel processo produttivo e nella supply chain anche tramite la riduzione del numero di intermediari (Porter & Heppelmann, 2014); maggiore controllo sui livelli necessari dei fattori di input e output produttivi e personalizzazione dei prodotti (Porter & Heppelmann, 2015). Per contro, presenta rischi collegati alla tutela della privacy (Manyika et al., 2015). I big data consentono: stima della domanda e maggiore flessibilità nel rispondere rapidamente alle esigenze del mercato (Bartosik-Purgat & Ratajczak-Mrozek, 2018; H. Davenport, 2014; He, Wang, & Akula, 2017); ottimizzazione della supply chain (T. M. Choi, 2018); contenimento dei costi di produzione (Bartosik-Purgat & Ratajczak-Mrozek, 2018; Bumblauskas, Nold, Bumblauskas, & Igou, 2017). Tuttavia, anche questa tecnologia presenta problemi relativi alla tutela della privacy (Bumblauskas et al., 2017). Il cloud computing può comportare: aumento della capacità produttiva e ottimizzazione della supply chain (Alshamaila, Papagiannidis, & Li, 2013); miglioramento del lavoro a distanza (Carcary, Doherty, & Conway, 2014). Per contro, è soggetto a rischi relativi alla sicurezza dei dati (KPMG, 2014). L'additive manufacturing rende possibile: rapidità nella progettazione, prototipazione e realizzazione di prodotti (Berman, 2012; Gibson, Mateus, & Bartolo, 2010); ottimizzazione della supply chain (Baumers, Dickens, Tuck, & Hague, 2016); aumento della produzione grazie alla realizzazione di piccoli lotti personalizzati o customizzati (D'aveni, 2013; Mohr & Khan, 2015); possibilità di risposta alle variazioni di domanda e/o copertura di nicchie eterogenee di clienti (Petrick & Simpson, 2013); maggiore efficienza nell'utilizzo delle risorse grazie alla produzione e riproduzione intelligente (Campbell, Williams, Ivanova, & Garrett, 2011); miglioramenti della sostenibilità ambientale riducendo sprechi di materiali ed emissioni inquinanti (Attaran, 2017). Tuttavia, presenta rischi legati alla contraffazione dei prodotti (Bradshaw, Bowyer, & Haufe, 2010) e alla produzione di prodotti illegali o nocivi (Mohr & Khan, 2015). La simulation permette (Guzmán et al., 2012): maggiore velocità nei tempi di produzione; abbassamento dei costi di set-up; possibilità di effettuare analisi di scenario anche in ambienti complessi. Cloud computing (T.-M. Choi, 2018) e horizontal and vertical integration (Xu, Xu, & Li, 2018), sono identificate come tecnologie a supporto delle altre che hanno quindi opportunità e vulnerabilità indirette tramite il rafforzamento degli effetti delle altre tecnologie in impresa.

PRIME CONCLUSIONI E DISCUSSIONI

Il paper esplora l'effetto dell'Industry 4.0 in impresa in termini di opportunità e vulnerabilità. Lo studio, di natura concettuale, ricostruisce, attraverso una systematic literature review nel periodo 2011 - settembre 2019, le conoscenze e i trend in atto e individua alcuni gap della letteratura. Il principale gap è legato alla carenza di studi sulle vulnerabilità e di studi che verifichino empiricamente gli effetti dell'applicazione dell'Industry 4.0 su grandi campioni di dati.

Implicazioni manageriali

La mappa delle opportunità e delle vulnerabilità identificate potrebbe aiutare i manager e gli imprenditori a prendere decisioni strategiche in modo più consapevole, permettendo loro di superare la diffidenza iniziale nell'innovare in Industry 4.0 dovuta agli elevati investimenti richiesti in termini di costi, tempo e competenze.

Limiti

L' Industry 4.0 è un tema emergente e solo alcuni articoli ne analizzano le relative opportunità e vulnerabilità. Per questo motivo, il numero di articoli è ancora limitato e molte delle ricerche condotte non sono ancora pubblicate su riviste di alto profilo. Pertanto, potrebbe essere utile confrontare i risultati ottenuti con l'analisi di un campione di lavori pubblicati come atti di convegno e capitoli di libro.

REFERENCES

Alshamaila, Y., Papagiannidis, S., & Li, F. (2013). Cloud computing adoption by SMEs in the north east of England: A multi-perspective framework. *Journal of Enterprise Information Management*, 26(3), 250-275. Retrieved from <https://www.emeraldinsight.com/doi/abs/10.1108/17410391311325225>. doi:doi:10.1108/17410391311325225

Attaran, M. (2017). The rise of 3-D printing: The advantages of additive manufacturing over traditional manufacturing. *Business Horizons*, 60(5), 677-688. Retrieved from <http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=bsu&AN=124821231&site=ehost-live>. doi:10.1016/j.bushor.2017.05.011

Bartosik-Purgat, M., & Ratajczak-Mrozek, M. (2018). Big Data Analysis as a Source of Companies' Competitive Advantage: A Review. *Entrepreneurial Business & Economics Review*, 6(4), 197-215. Retrieved from <http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=bsu&AN=133682168&site=ehost-live>. doi:10.15678/EBER.2018.060411

Baumers, M., Dickens, P., Tuck, C., & Hague, R. (2016). The cost of additive manufacturing: machine productivity, economies of scale and technology-push. *Technological Forecasting and Social Change*, 102, 193-201. Retrieved from <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0040162515000530>. doi:<https://doi.org/10.1016/j.techfore.2015.02.015>

Berman, B. (2012). 3-D printing: The new industrial revolution. *Business Horizons*, 55(2), 155-162. Retrieved from <http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=bsu&AN=72341433&site=ehost-live>. doi:10.1016/j.bushor.2011.11.003

Bradshaw, S., Bowyer, A., & Haufe, P. (2010). The intellectual property implications of low-cost 3D printing. *ScriptEd*, 7, 5.

Bumblauskas, D., Nold, H., Bumblauskas, P., & Igou, A. (2017). Big data analytics: transforming data to action. *Business Process Management Journal*, 23(3), 703-720. Retrieved from <https://www.emeraldinsight.com/doi/abs/10.1108/BPMJ-03-2016-0056>. doi:doi:10.1108/BPMJ-03-2016-0056

Campbell, T., Williams, C., Ivanova, O., & Garrett, B. (2011). Could 3D printing change the world. *Technologies, Potential, and Implications of Additive Manufacturing*, Atlantic Council, Washington, DC, 3.

Carcary, M., Doherty, E., & Conway, G. (2014). The Adoption of Cloud Computing by Irish SMEs -- an Exploratory Study. *Electronic Journal of Information Systems Evaluation*, 17(1), 3-14. Retrieved from <http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=bsu&AN=97294590&site=ehost-live>.

Choi, T.-M. (2018). A system of systems approach for global supply chain management in the big data era. *IEEE Engineering Management Review*, 46(1), 91-97.

Choi, T. M. (2018). A system of systems approach for global supply chain management in the big data era. *IEEE Engineering Management Review*, 46(1), 91-97.

Chung, W., & Swink, M. (2009). Patterns of advanced manufacturing technology utilization and manufacturing capabilities. *Production and Operations Management*, 18(5), 533-545.

Coxon, M., Kelly, N., & Page, S. (2016). Individual differences in virtual reality: Are spatial presence and spatial ability linked? *Virtual Reality*, 20(4), 203-212.

D'aveni, R. A. (2013). 3-D printing will change the world. *Harvard business review*, 91(3), 34-35.

Djuric, A., Urbanic, R. J., & Rickli, J. (2016). *A Framework for Collaborative Robot (CoBot) Integration in Advanced Manufacturing Systems* (Vol. 9).

Gibson, I., Mateus, A., & Bartolo, P. (2010). RapidPRE: a new additive manufacturing technique based on reaction injection moulding. *Annals of DAAAM 2010 & Proceedings*, 21(1), 1589-1590.

Guzmán, C. F., Gu, J., Duflou, J., Vanhove, H., Flores, P., & Habraken, A. M. (2012). Study of the geometrical inaccuracy on a SPIF two-slope pyramid by finite element simulations. *International Journal of Solids and Structures*, 49(25), 3594-3604.

H. Davenport, T. (2014). How strategists use “big data” to support internal business decisions, discovery and production. *Strategy & Leadership*, 42(4), 45-50.

He, W., Wang, F.-K., & Akula, V. (2017). Managing extracted knowledge from big social media data for business decision making. *Journal of Knowledge Management*, 21(2), 275-294. Retrieved from <https://www.emeraldinsight.com/doi/abs/10.1108/JKM-07-2015-0296>. doi:doi:10.1108/JKM-07-2015-0296

Kagermann, H., Lukas, W.-D., & Wahlster, W. (2011). Industrie 4.0: Mit dem Internet der Dinge auf dem Weg zur 4. industriellen Revolution. *VDI nachrichten*, 13(1).

- KPMG. (2014). Elevating Business in the Cloud. *2014 KPMG Cloud Survey Report*.
- Manyika, J., Chui, M., Bisson, P., Woetzel, J., Dobbs, R., Bughin, J., & Aharon, D. (2015). Unlocking the Potential of the Internet of Things. *McKinsey Global Institute*.
- Mirmahdi, D., & Wan Khairuzzaman Wan, I. (2012). Advanced Manufacturing Technology Adoption in SMEs: an Integrative Model. *Journal of Technology Management & Innovation*, 7(4), 112-120. Retrieved from <http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=bsu&AN=94720500&site=ehost-live>.
- Mohr, S., & Khan, O. (2015). 3D Printing and Its Disruptive Impacts on Supply Chains of the Future. *Technology Innovation Management Review*, 20-25. Retrieved from <Go to ISI>://WOS:000365898700004.
- Petrick, I. J., & Simpson, T. W. (2013). 3D printing disrupts manufacturing: how economies of one create new rules of competition. *Research-Technology Management*, 56(6), 12-16.
- Porter, M. E., & Heppelmann, J. E. (2014). How smart, connected products are transforming competition. *Harvard business review*, 92(11), 64-88.
- Porter, M. E., & Heppelmann, J. E. (2015). How smart, connected products are transforming companies. *Harvard business review*, 93(10), 96-114.
- Spanos, Y. E., & Voudouris, I. (2009). Antecedents and trajectories of AMT adoption: the case of Greek manufacturing SMEs. *Research Policy*, 38(1), 144-155.
- Strange, R., & Zucchella, A. (2017). Industry 4.0, global value chains and international business. *Multinational Business Review (Emerald Group Publishing Limited)*, 25(4), 174-184. Retrieved from <http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=bsu&AN=125550243&site=ehost-live>, doi:10.1108/MBR-05-2017-0028
- Tranfield, D., Denyer, D., & Smart, P. (2003). Towards a methodology for developing evidence-informed management knowledge by means of systematic review. *British journal of management*, 14(3), 207-222.
- Wang, X., Ong, S. K., & Nee, A. Y. C. (2016). A comprehensive survey of augmented reality assembly research. *Advances in Manufacturing*, 4(1), 1-22. Retrieved from <https://doi.org/10.1007/s40436-015-0131-4>. doi:10.1007/s40436-015-0131-4
- Xu, L. D., Xu, E. L., & Li, L. (2018). Industry 4.0: state of the art and future trends. *International Journal of Production Research*, 56(8), 2941-2962.